

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. XIX

Název: Pád koule ve viskózní kapalině

Pracoval: Matyáš Řehák stud.sk.: 16 dne: 29.2.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

Chybí ověření Stokesova vzorce, tj, výpočet Reynoldsova čísla.

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 9	7
Diskuse výsledků	0 - 5	4
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	18

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkol:

1. Změřte dynamickou viskozitu parafinového oleje Stokesovou metodou.
2. Změřte dynamickou viskozitu ricinového oleje Stokesovou metodou.
3. Ověřte, zda jsou pro dané experimentální uspořádání splněny podmínky platnosti Stokesova vzorce pro odpor prostředí při pohybu koule.
4. Hustotu skleněných kuliček určete pyknometrickou metodou.

Teorie:

Stokesova metoda měření viskozity:

Na kuličku padající ve viskózní kapalině působí tři síly: vztlačová síla, tíhová síla a odporová síla dle Stokesova vzorce

$$F = 6\pi\eta rv, \quad (1)$$

kde η je viskozita kapaliny, v rychlost pohybu kuličky a r její poloměr. Tento vztah ovšem platí pouze v případě pomalého pohybu kuličky (předpoklad laminárního obtékání) a nekonečného okolního prostředí. Platnost prvního předpokladu lze ověřit ze vztahu

$$R_e = \frac{2rv\rho}{\eta}, \quad (2)$$

kde R_e je Reynoldsovo číslo a ρ je hustota kapaliny. Pro platnost Stokesova vzorce musí platit $R_e \ll 1$. Výraz pro viskozitou měřenou Stokesovou metodou je odvozen v [1]:

$$\eta = \frac{3m - 4\pi r^3 \rho}{9v} g, \quad (3)$$

kde m je hmotnost kuličky a g je tíhové zrychlení. Rychlost v je dána vztahem:

$$v = \frac{l}{t}, \quad (4)$$

kde l je vzdálenost dvou značek, mezi kterými měříme čas t pádu kuličky. Pokud do rovnice (3) zavedeme hustotu kuličky ρ_k , použijeme dle [2] korekci pro konečné rozměry nádoby a upravíme rovnici pro průměry místo poloměrů, získáme:

$$\eta = \frac{tDd^2(\rho_k - \rho)g}{18l(D - 2,4d)}, \quad (5)$$

kde D je průměr válce s kapalinou a d průměr kuličky.

Pyknometrická metoda měření hustoty kuliček

Hustotu kuliček ρ_k určíme pyknometrickou metodou:

$$\rho_k = \rho \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_3 - m_1 - m_4}, \quad (6)$$

kde m_1 je hmotnost samotného pyknometru, m_2 je hmotnost pyknometru s kuličkami, m_3 je hmotnost pyknometru s destilovanou vodou a m_4 je hmotnost pyknometru s destilovanou vodou a s kuličkami a ρ je hustota destilované vody.

Pomůcky

Dva odměrné válce naplněné ricinovým a parafinovým olejem, dva druhy skleněných kuliček, dílenský mikroskop, stopky, laboratorní váhy, pyknometr, destilovaná voda, pásové měřidlo, gumičky, posuvné měřidlo.

Postup

1. Pomocí mikroskopu změříme dva kolmé průměry deseti kuliček pro každou z velikostí.
2. Posuvným měřidlem změříme průměr odměrných válců a pásovým měřidlem gumičkami vyznačenou vzdálenost na válcích.
3. Stopkami změříme dobu pádu obou druhů kuliček v ricinovém resp. parafinovém oleji a vyhodnotíme, která z velikostí kuliček je vhodná pro který olej tak, aby byla splněna podmínka (2).
4. Pomocí analytických vah změříme hmotnost pyknometru prázdného, s kuličkami, s destilovanou vodou a s kuličkami i destilovanou vodou.
5. Pomocí vztahů (5) a (6) spočteme viskozitu obou olejů.

Výsledky měření

Laboratorní podmínky

Teplota vzduchu v místnosti a obou olejů: 23,7°C

Teplota destilované vody: 23,1°C

Tlak vzduchu: 98,4 kPa

Relativní vlhkost vzduchu: 40%

Určení hustoty kuliček

Naměřené hmotnost potřebné k určení hustoty kuliček

Tab.1	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	m_4 [g]	σ_m [g]	ρ_k [kg.m ⁻³]	$\sigma_{\rho k}$ [kg.m ⁻³]
velké	6,4751	8,4591	11,5098	12,6991	0,0001	2489	5
malé	6,6491	8,6721	11,6617	12,9168	0,0001	2627	6

m_1 – hmotnost pyknometru

m_2 – hmotnost pyknometru s kuličkami

m_3 – hmotnost pyknometru s vodou

m_4 – hmotnost pyknometru s vodou a kuličkami

σ_m – chyba měření hmotnosti (chyba analytických vah)

ρ_k – hustota kuliček dle (6)

$\sigma_{\rho k}$ – odchylka hustoty kuliček

pro výpočet $\sigma_{\rho k}$ byl použit vztah:

$$\sigma_{\rho k}^2 = 2\sigma_m^2 \rho_k^2 \frac{(m_1 - m_2)^2 + (m_3 - m_4)^2}{(m_1 + m_3 - m_2 - m_4)^4} \quad (7)$$

Určení viskozity ricinového oleje

Velikost velkých kuliček a doba jejich pádu

Tab.2	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d [mm]	t [s]
1	2,49	2,52	2,51	33,06
2	2,52	2,52	2,52	32,32
3	2,49	2,50	2,50	32,53
4	2,53	2,56	2,55	31,69
5	2,41	2,55	2,48	32,38
6	2,52	2,49	2,51	31,37
7	2,51	2,48	2,50	32,87
8	2,49	2,59	2,54	33,27
9	2,52	2,61	2,57	31,49
10	2,59	2,56	2,58	31,66
E	2,51	2,54	2,52	32,26

d_1 – průměr kuličky

d_2 – průměr kuličky kolmý na d_1

d – průměr hodnot d_1 a d_2

t – doba pádu mezi vyznačenými body

E – průměrná hodnota

Veličiny potřebné pro výpočet viskozity a jejich chyby

Tab.3	d [mm]	ρ_k [kg.m ⁻³]	t [s]	l [m]	D [mm]	g [m.s ⁻²]	ρ_o [kg.m ⁻³]
E	2,52	2489	32,26	0,21	78,0	9,81	950
σ	0,03	5	0,65	0,02	0,2	0	0

ρ_k – hustota kuliček

l – vzdálenost mezi vyznačenými body

D – průměr válce

g – tíhové zrychlení (tabelované [3])

ρ_o – hustota oleje (tabelované [3])

Výsledná viskozita se spočte dle (5) a její chyba dle:

$$\sigma_\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho}\right)^2 \sigma_\rho^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial l}\right)^2 \sigma_l^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial d}\right)^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial D}\right)^2 \sigma_D^2} \quad (8)$$

Z uvedených hodnot vychází viskozita ricinového oleje $\eta = (889 \pm 85) \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Relativní chyba je 9,5%.

Určení viskozity parafinového oleje

Velikost malých kuliček a doba jejich pádu

Tab.4	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	d [mm]	t [s]
1	1,51	1,52	1,52	3,52
2	1,49	1,44	1,47	3,53
3	1,48	1,48	1,48	3,65
4	1,45	1,52	1,49	3,46
5	1,58	1,47	1,53	3,48
6	1,47	1,53	1,50	3,57
7	1,51	1,50	1,51	3,62
8	1,51	1,51	1,51	3,68
9	1,45	1,54	1,50	3,64
10	1,44	1,46	1,45	3,52
E	1,49	1,50	1,49	3,57

Ozn. viz. Tab.2

Veličiny potřebné pro výpočet viskozity a jejich chyby

Tab.5	d [mm]	ρ_k [kg.m ⁻³]	t [s]	l [m]	D [mm]	g [m.s ⁻²]	ρ_o [kg.m ⁻³]
E	1,49	2627	3,57	0,22	78,0	9,81	850
σ	0,02	6	0,07	0,02	0,2	0	0

Ozn. viz. Tab.3

Výsledná viskozita se spočte dle (5) a její chyba dle (8). Viskozita z těchto vztahů vychází $\eta = (37 \pm 4) \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ s relativní chybou 9,6%.

Diskuse

Srovnání naměřených hodnot viskozity olejů s tabelovanou hodnotou [3]

Tab.6	Tabelovaná [$10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]	Naměřená [$10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]
ricinový	986	889 ± 85
parafinový	102	37 ± 4

Dynamická viskozita je veličinou, jež je velmi závislá na laboratorních podmínkách, zejména na teplotě kapaliny. Dále je pro tento způsob měření nezbytné dodržet podmínky platnosti Stokesova zákona (1), na což má vliv zejména přesný tvar kuliček a rychlost pádu.

Naměřená hodnota viskozity ricinového oleje je v hrubé shodě s tabulkovou hodnotou. Naměřená hodnota je poněkud nižší, protože tabelovaná hodnota je při 20°C , kdežto teplota při měření byla $23,7^{\circ}\text{C}$. Jak je známo, viskozita se při růstu teploty výrazně snižuje, proto lze naměřenou hodnotu považovat za správnou.